

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-271548

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/122
H04B 10/24

(21)Application number : 10-078719

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 26.03.1998

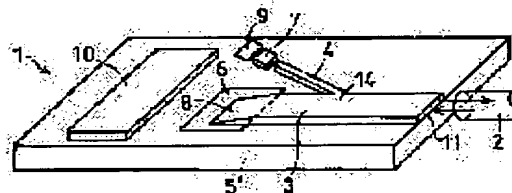
(72)Inventor : FUJITA HIDEAKI
ISHII YORISHIGE
MATSUSHIMA TOSHIYUKI
OKADA NORIAKI

(54) TWO-WAY OPTICAL COMMUNICATION UNIT, AND TWO-WAY OPTICAL COMMUNICATION EQUIPMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a two-way optical communication module low in cost and small in size, capable of being easily integrated with other elements, and suitable to a small-scale network, and to provide a two-way optical communication link using the module.

SOLUTION: This two-way optical communication unit 1 is provided with a main waveguide 3 which is optically coupled with an optical fiber 2 and guides light made incident from the optical fiber 2 to a light receiving element 6. Further, the unit is provided with a subordinate waveguide 4 which is optically coupled with the main waveguide 3 at the side part for the optical-axis direction of the main waveguide 3 and guides the light emitted by a light emitting element 7 to the optical waveguide 2 through the main waveguide 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 04.03.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-271548

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.⁸
 G 0 2 B 6/122
 H 0 4 B 10/24

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12
 H 0 4 B 9/00

B
 G

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平10-78719
 (22) 出願日 平成10年(1998)3月26日

(71) 出願人 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
 (72) 発明者 藤田 英明
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
 ャープ株式会社内
 (72) 発明者 石井 ▲頼▼成
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
 ャープ株式会社内
 (72) 発明者 松島 俊幸
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
 ャープ株式会社内
 (74) 代理人 弁理士 原 謙三

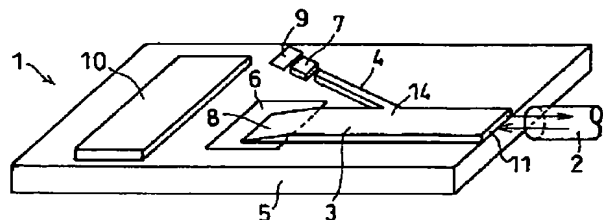
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 双方向光通信器および双方向光通信装置

(57) 【要約】

【課題】 安価で小型であり、他の素子との集積化を容易に行うことのできる、小規模のネットワークに適した双方向光通信モジュール1およびそれを用いた双方向光通信リンクを提供する。

【解決手段】 光ファイバ2と光学的に結合し、光ファイバ2から入射した光を受光素子6に導く主導波路3を設ける。主導波路3における光軸方向に対する側部にて主導波路3と光学的に結合し、発光素子7から出射された光を主導波路3を介して光ファイバ2に導くための副導波路4を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】光ファイバと光学的に結合し、光ファイバから入射した光を受光素子に導く主導波路と、主導波路における光軸方向に対する側部にて主導波路と光学的に結合し、発光素子から出射された光を主導波路を介して光ファイバに導く副導波路とを有することを特徴とする双方向光通信器。

【請求項 2】主導波路を伝搬する光のモード数を、副導波路を伝搬する光のモード数よりも多くなるように上記主導波路が設定されていることを特徴とする請求項 1 記載の双方向光通信器。

【請求項 3】主導波路における、光軸方向を横切る断面積が、副導波路における、光軸方向を横切る断面積よりも大きくなるように設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の双方向光通信器。

【請求項 4】主導波路および副導波路は、上記主導波路および副導波路のコア部がプラスチックで形成されていることを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の双方向光通信器。

【請求項 5】上記コア部は、ポリイミドを主成分とするプラスチックからなっていることを特徴とする請求項 4 に記載の双方向光通信器。

【請求項 6】副導波路の光軸と、主導波路の光軸との間で形成される角度が、2 度以下となるように設定されていることを特徴とする請求項 1 ないし 5 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 7】副導波路の光軸と、光ファイバのコアの光軸との間で形成される角度が、1 度以下となるように設定されていることを特徴とする請求項 1 ないし 6 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 8】主導波路の光軸と、光ファイバのコアの光軸との間で形成される角度が、1 度以下となるように設定されていることを特徴とする請求項 1 ないし 7 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 9】副導波路が、複数、主導波路に対し設けられていることを特徴とする請求項 1 ないし 8 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 10】主導波路と、副導波路とが基板上に形成されていることを特徴とする請求項 1 ないし 9 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 11】光ファイバから主導波路に入射した光を、基板上に形成した受光素子に導入する光プルが設けられていることを特徴とする請求項 10 に記載の双方向光通信器。

【請求項 12】少なくとも発光素子と結合する部分での副導波路における幅が、40 μm 以上となるように設定されていることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の双方向光通信器。

【請求項 13】少なくとも発光素子と結合する部分での副導波路における厚さが、35 μm 以上となるように設

定されていることを特徴とする請求項 10 ないし 12 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 14】主導波路の厚さが、副導波路の厚さと同となるように設定されていることを特徴とする請求項 10 ないし 13 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 15】少なくとも光ファイバと結合する部分での主導波路の幅が、光ファイバのコア径の 0.8 倍以上となるように設定されていることを特徴とする請求項 10 ないし 14 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 16】光ファイバの一端に結合されている発光素子と、光ファイバの他端に結合されている発光素子とは、互いに異なる発光波長をそれぞれ有することを特徴とする請求項 1 ないし 15 の何れか一つに記載の双方向光通信器。

【請求項 17】主導波路と、受光素子との間に波長分離素子が、上記主導波路に結合された発光素子からの光の通過を阻止すると共に、他端に結合された発光素子からの光を通過させるように配置されていることを特徴とする請求項 16 に記載の双方向光通信器。

【請求項 18】マルチモードの光を伝搬する光ファイバの各端に、それぞれ光学的に結合されている複数の双方向光通信器を有して、双方向光通信を行うための双方向光通信装置であって、

上記複数の双方向光通信器の少なくとも一つは、請求項 1 ないし 17 の何れか一つに記載の双方向光通信器であることを特徴とする双方向光通信装置。

【請求項 19】光ファイバとして、コアがプラスチックよりなるプラスチック光ファイバが用いられていることを特徴とする請求項 18 に記載の双方向光通信装置。

【請求項 20】上記コアが、ポリメチルメタクリレート系樹脂が主成分のプラスチックからなるとき、上記発光素子は、波長 650 nm 近傍の光を発光するものであることを特徴とする請求項 19 に記載の双方向光通信装置。

【請求項 21】上記コアが、ポリカーボネート系樹脂が主成分のプラスチックからなるとき、上記発光素子は、波長 780 nm 近傍の光を発光するものであることを特徴とする請求項 19 に記載の双方向光通信装置。

【請求項 22】光ファイバは、クラッドがプラスチックよりなる一方、コアが石英よりなるハードポリマークラッドファイバであることを特徴とする請求項 18 に記載の双方向光通信装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、双方向に光信号を送受信することのできる双方向光通信器に関し、より詳しくはプラスチック光ファイバ等のマルチモード光ファイバを伝送媒体として、家庭内通信や電子機器間通信、LAN (Local Area Network) 等を使用することのできる双方向光通信器およびそれを用いた双方向光通信装置

に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、双方向光通信装置としての双方向光通信リンクとしては、シングルモードの光を伝搬するシングルモード光ファイバを伝送媒体とするものと、マルチモードの光を伝搬するマルチモード光ファイバを伝送媒体としたものが知られている。

【0003】シングルモード光ファイバとしては、コアが石英ガラスよりなる石英ガラス光ファイバが挙げられる。石英ガラス光ファイバは、低損失であることから、高速で長距離間の伝送が可能であり、光送受信モジュール（双方向光通信器）と組み合わせることにより、ATM（非同期伝送モード）によるLAN等の双方向光通信リンクに広く用いられている。

【0004】しかしながら、石英ガラス光ファイバは、コストが高く、また、シングルモード光ファイバは、そのコアの口径が製造上の問題から数 μm と小さく、光送受信モジュールとの結合の調整が困難で手間取ることから、コストアップを招来し、家庭内や小規模のネットワークに使用するには問題があった。

【0005】一方、マルチモード光ファイバとしては、石英ガラス光ファイバや、コアがプラスチックよりなるプラスチック光ファイバ（以下、POFと略す）等が挙げられる。POFは、現状では、伝送損失が比較的大きいため、長距離での通信は困難であるが、材料が安価であり、曲げ損失が少なく、折れにくく、また、コアが1mm程度の大口徑のファイバを容易に製造できることから、光送受信モジュールとの結合調整が容易であり、取り付けコストを抑制できるので、家庭内や小規模のネットワークに使用するのに適している。

【0006】POFを媒体として双方向光通信リンクとしては、例えば図22に示すような、送信、受信をそれぞれ行うために、二本のPOF102をそれぞれ用いたものが挙げられる。送信側の発光素子107として、LEDや半導体レーザを用い、POF102と直接、あるいはレンズを介して結合させている。受信側では、受光素子106としてフォトダイオードを用いて、POF102からの伝送光を受光している。

【0007】このような双方向光通信リンクでは、POF102のコア径が大きいことを利用し、受光素子106あるいは発光素子107と、POF102との調整を容易に行うことができる利点を有する。しかしながら、POF102が二本必要なことから、伝送距離が伸びるに伴い、コストが高くなるという問題がある。

【0008】また、一本の光ファイバにより、双方向に通信を行うことのできる光送受信モジュールが、特開昭58-191543号公報に開示されている。この光送受信モジュールでは、図23に示すように、光ファイバ202に光を入射する円形状の発光面を有する発光素子207と、光ファイバ202から出射される光を受光す

るリング状の受光素子206とが、絶縁用空域210を挟んで同心状に形成された構造となっている。

【0009】上記構造によれば、送信時には発光素子207からの出射光を、直接、光ファイバ202に入射し、受信時には光ファイバ202からの入射光を受光素子206で受光でき、一本の光ファイバ202により送受信が可能となる。

【0010】しかしながら、このような受光素子206の中心部に発光素子207を配置した光送受信モジュールでは、発光素子207の発熱により、発光素子207や受光素子206に悪影響を及ぼしたり、受光素子206に対し、例えば発光素子207からの送信光が、光ファイバ202の入射面で反射した、迷光が入り易く受信感度が劣化したりするという問題点が生じている。

【0011】また、上記光送受信モジュールでは、構造上の制約から、発光素子207として面発光型のものを用いる必要があるが、面発光型であるLEDを用いた場合、高速化が困難であり、また、高速化が可能な半導体レーザについては、面発光型のものが実用化されておらず、信頼性、およびコスト上の欠点を生じている。

【0012】また、図24に示すように、ハーフミラー310を用いて送信光と受信光とを分離する方法が知られている。上記方法では、発光素子307からの出射光をハーフミラー310により角度を変えて光ファイバ302に入射し、光ファイバ302からの入射光をハーフミラー310を通過させて受光素子306で受光することにより、一本の光ファイバ302により送受信を行うことが可能となっている。

【0013】しかしながら、このようにハーフミラー310を用いて送信光と受信光とを分離する方法では、送信光・受信光とも、上記ハーフミラー310において、3dB程度の損失が生じており、また、光軸調整も困難であることから、送受信の信頼性が劣化し易いという不都合を生じている。

【0014】これらの方法以外に一本の光ファイバを用いて送受信を行う方法としては、光導波路の光分岐路を用いたものが挙げられる。光導波路としては、ガラス、半導体、プラスチック等を材料とするものが検討されている。ガラス光導波路は低損失であり、シングルモード光ファイバを伝送媒体とした光送受信モジュールに用いられている。また、プラスチック光導波路は、例えば特開平3-188402号公報に開示されているように、加工性がよく、取り扱いが比較的容易であるため、ガラス光導波路に代わるものとして注目されている。

【0015】しかしながら、ガラス光導波路は、厚膜加工が困難なことから、POFのように口径が大きいマルチモード光ファイバと結合させた場合、結合損失が大きくなってしまふ。また、プラスチック光導波路でも、マルチモード光ファイバとの結合に適した光送受信モジュールに利用できるものは開示されていない。

【0016】一方、プラスチックを材料とした光分岐器が、特開平 8-334644 号公報に開示されている。上記光分岐器は、図 25 に示すように、樹脂材料からなる単一の成形体で構成されたクラッド 410 と、クラッド 410 内で二つ以上に分岐されたコア 403 とから構成されている。上記光分岐器では、コア 403 の端部と POF とを結合させることによって、POF から入射してきた光はコア 403 を伝搬し、コア 403 の分岐部 414 で分岐されて出射される。

【0017】このようなプラスチック光分岐器は、コア 403 を POF のコア径と同等の大きさに形成することが容易であり、POF のようにコア径の大きいマルチモード光ファイバと高効率で結合させることができるものとなっている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】ところが、このようなプラスチック光分岐器では、入射光が分岐部 414 で略等分されるため、光送受信モジュールとして用いる場合、受信光量が半減するので、受信光からの信号再生品質が劣化し、信頼性が低下するという問題を生じると共に、成形によりコア 403 とクラッド 410 を形成しているため、受光素子や発光素子との集積化が困難であり、小型化し難いという問題も生じている。

【0019】本発明は、これらの課題を鑑みてなされたものであり、光分岐器とは異なり、入射光を受光素子に高効率にて伝送することができ、かつ、発光素子からの出射光を光ファイバまで高効率で伝送することができ、その上、POF のようにコアの口径が比較的大きいマルチモード光ファイバと低損失で簡単な調整で結合することができ、さらに、一本の光ファイバで双方向に光通信が可能であり、伝送損失が小さく、受信感度が高く、迷光による影響が少ない、小規模なネットワークに適した双方向光通信器、およびそれを用いた双方向光通信装置を提供することを目的とする。

【0020】さらに、本発明の他の目的は、発光素子と光導波路の結合が容易であり、安価で小型であり、他の素子との集積化を容易に行うことのできる、小規模なネットワークに適した双方向光通信器、およびそれを用いた双方向光通信装置を提供することである。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の双方向光通信器は、以上の課題を解決するために、光ファイバと光学的に結合し、光ファイバから入射した光を受光素子に導く主導波路と、主導波路における光軸方向に対する側部にて主導波路と光学的に結合し、発光素子から出射された光を主導波路を介して光ファイバに導く副導波路とを有することを特徴としている。

【0022】上記の構成によれば、副導波路を主導波路の側部に結合させた構造としているため、副導波路の光軸は、主導波路の光軸と異なる方向にでき、よって、光

ファイバから主導波路に導かれた受信光が、副導波路に結合し難くなり、上記受信光を高効率で受光素子に結合させることができる。

【0023】また、上記構成では、発光素子からの送信光は副導波路から主導波路に結合し、主導波路から光ファイバに高効率で結合させることができる。これらのことから、上記構成では、一本の光ファイバによって、光による、双方向の送受信を行うことができる。

【0024】さらに、上記構成では、光ファイバとして、マルチモードの光を伝搬する光ファイバを用いた場合、上記光ファイバのコアの口径を、シングルモードの光ファイバより大きく設定できて、大口径のコアを有する光ファイバと主導波路とを光学的に結合することを、従来のようなシングルモードの光ファイバを用いた場合と比べると容易にできる。

【0025】その上、上記構成では、従来のように光分岐器を省いても、送信光および受信光を用いた双方向光通信が可能となるので、伝送損失が小さく、かつ、迷光による影響が少なくできることから、受信感度を高くできることを簡素で安価な構成により可能となる。

【0026】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路を伝搬する光のモード数を、副導波路を伝搬する光のモード数よりも多くなるように上記主導波路は設定されていることが好ましい。

【0027】上記の構成によれば、主導波路を伝搬する光のモード数を副導波路を伝搬するモード数よりも多く設定しているため、光ファイバからの受信光が副導波路側に伝搬し難くなり、高効率で受信光を受光素子に伝搬することができる。また、送信光も、高効率で副導波路に伝搬させることができることから、従来のような光分岐路を用いた場合と比べると、送信・受信共に、より高効率にできる。

【0028】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路における、光軸方向を横切る断面積が、副導波路における、光軸方向を横切る断面積よりも大きくなるように設定されていることが好ましい。

【0029】上記の構成によれば、主導波路の断面積を副導波路の断面積より広くすることにより、マルチモード光ファイバからの入射光を主導波路に効率よく結合させることができる。一方、副導波路は光ファイバからの入射光と結合し難くなり、発光素子からの出射光を光ファイバに高効率で結合させることができる。

【0030】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路および副導波路は、上記主導波路および副導波路のコア部がプラスチックで形成されていることが好ましい。

【0031】上記の構成によれば、主導波路と副導波路のコア部をプラスチックで構成しているため、厚膜加工が容易であり、口径の広い光ファイバと高効率で、簡単な調整により結合させることができる。

【0032】本発明の双方向光通信器は、さらに、上記コア部は、ポリイミドを主成分とするプラスチックからなっていることが好ましい。

【0033】上記の構成によれば、主導波路および副導波路のコア部を、ポリイミドを主成分とするプラスチックで構成しているため、耐熱性が高く、かつ、光の透過率の高い主導波路および副導波路が得られるので、発光素子として半導体レーザを使用しても、半導体レーザの設置の際のオーミック電極形成時の熱処理による熱の悪影響を抑制でき、かつ損失の少ない主導波路および副導波路を得ることができる。

【0034】また、ドライエッチング技術を用いて加工が可能のため、半導体プロセスでの製造を行うことができ、例えば半導体からなる基板上への作製が容易に行え、安価で高精度の製造が可能となる。

【0035】本発明の双方向光通信器は、さらに、副導波路の光軸と主導波路の光軸との間で形成される角度が22度以下となるように設定されていることが好ましい。

【0036】上記の構成によれば、副導波路の光軸と主導波路の光軸のなす角度を22度以下に規定しているため、発光素子から出射され副導波路を伝搬してきた光を主導波路により低損失で結合させることができる。また、光ファイバから主導波路に入射してきた光を効率よく受光素子で結合させることができる。

【0037】本発明の双方向光通信器は、さらに、副導波路の光軸と、光ファイバのコアの光軸との間で形成される角度が、17度以下となるように設定されていることが好ましい。

【0038】上記の構成によれば、副導波路の光軸と光ファイバのコアの光軸のなす角度を17度以下に規定しているため、主導波路から光ファイバに入射した光が光ファイバ内で効率よく全反射して伝搬するため、上記光ファイバ内にて損失を受け難く、効率よく光を光ファイバにて伝送することができる。

【0039】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路の光軸と、光ファイバのコアの光軸との間で形成される角度が、17度以下となるように設定されていることが好ましい。

【0040】上記の構成によれば、主導波路の光軸と光ファイバのコアの光軸のなす角度を17度以下に規定しているため、主導波路から光ファイバに入射した光が光ファイバ内で損失を受け難く、効率よく光を伝送することができると共に、光ファイバとの結合部での主導波路の断面積を大きく設定することができ、光ファイバからの受信光を高効率で受光素子に伝送できる。

【0041】本発明の双方向光通信器は、さらに、副導波路が、複数、主導波路に対し設けられていてもよい。

【0042】上記の構成によれば、副導波路を複数設けているため、各副導波路にそれぞれ応じた、波長の相異

なる複数の発光素子を用いて波長多重の通信を容易に行うことができ、より高密度での双方向光通信が可能となる。

【0043】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路と、副導波路とが基板上に形成されていることが好ましい。

【0044】上記の構成によれば、主導波路と副導波路とを同一の基板上に形成しているため、他の素子との集積化が容易に行え、上記構成を小型化できる。

【0045】本発明の双方向光通信器は、さらに、光ファイバから主導波路に入射した光を、基板上に形成した受光素子に導入する光カプラが設けられていることが好ましい。

【0046】上記の構成によれば、受光素子を主導波路にて覆うことができるため、迷光が受光素子に入り難くできる。さらにまた、受光素子を基板上に形成しておき、その上に主導波路を形成するため、半導体プロセスにより製造を行うことができ、よって、受光素子と主導波路との位置調整を容易に高精度に行うことができる。

【0047】その上、上記構成では、半導体プロセスにより製造を行うことができることから、上記構成を小型化できる。さらに、上記構成では、光カプラにより、主導波路と受光素子とを結合させることができ、主導波路を伝搬してきた光を高効率で受光素子に結合させることができる。

【0048】本発明の双方向光通信器は、さらに、少なくとも発光素子と結合する部分での副導波路における幅が、40 μ m以上となるように設定されていることが好ましい。

【0049】上記の構成によれば、発光素子と結合する部分での副導波路の幅を40 μ m以上としているため、発光素子として、例えば半導体レーザを用いる場合に、副導波路と半導体レーザの結合を容易な調整により行うことができる。

【0050】本発明の双方向光通信器は、さらに、少なくとも発光素子と結合する部分での副導波路における厚さが、35 μ m以上となるように設定されていることが好ましい。

【0051】上記の構成によれば、発光素子と結合する部分での副導波路の厚さを35 μ m以上としているため、発光素子として、例えば半導体レーザを用いる場合に、副導波路と半導体レーザの結合を容易な調整により行うことができる。

【0052】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路の厚さが、副導波路の厚さと同じとなるように設定されていることが好ましい。

【0053】上記の構成によれば、主導波路の厚さを副導波路と同じ厚さに形成しているため、主導波路と副導波路の形成を、例えば半導体製造プロセスによって、同時に行うことができ、容易に二つの主導波路および副導

波路の形成を行うことができる。

【0054】本発明の双方向光通信器は、さらに、少なくとも光ファイバと結合する部分での主導波路の幅が、光ファイバのコア径の0.8倍以上となるように設定されていることが好ましい。

【0055】上記の構成によれば、光ファイバと結合する部分での主導波路の幅を光ファイバのコア径の0.8倍以上に形成しているため、光ファイバから入射してくる光を主導波路に高効率で結合させることができると共に、主導波路からの出射する光を光ファイバで高効率に結合させることができる。

【0056】本発明の双方向光通信器は、さらに、光ファイバの一端に結合されている発光素子と、光ファイバの他端に結合されている発光素子とは、互いに異なる発光波長をそれぞれ有することが好ましい。

【0057】上記の構成によれば、光ファイバの両端の各発光素子が、互いに異なる発光波長を有することから、一本の光ファイバにより、双方向の全二重の通信を行うことができる。

【0058】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路と、受光素子との間に波長分離素子が、配置されていることが好ましい。

【0059】上記の構成によれば、波長分離素子により波長分離を行って、受光素子に入射する光を規制して、受光素子に不要な波長の光が入射することを抑制できるので、より確実に全二重の通信を行うことができる。

【0060】本発明の双方向光通信装置は、前記の課題を解決するために、マルチモードの光を伝搬する光ファイバの各端に、それぞれ光学的に結合されている複数の双方向光通信器を有して、双方向光通信を行うための双方向光通信装置であって、上記複数の双方向光通信器の少なくとも一つは、上記記載の各双方向光通信器の何れか一つであることを特徴としている。

【0061】上記構成によれば、従来のように光分岐器を省いても、送信光および受信光を用いた双方向光通信が可能となるので、伝送損失が小さく、かつ、迷光による影響が少なくできることから、受信感度を高くできることを簡素な構成により可能となる。

【0062】本発明の双方向光通信装置は、さらに、光ファイバとして、コアがプラスチックよりなるプラスチック光ファイバが用いられていることが好ましい。

【0063】上記の構成によれば、光ファイバとしてPOFを用いているため、曲げ損失が少なく、折れ難く、また、コアが1mm程度の大口径の光ファイバを容易に製造できることから、光ファイバと主導波路との結合調整が容易であり、かつ、双方向光通信装置を安価にできる。

【0064】本発明の双方向光通信装置は、さらに、上記コアが、ポリメチルメタクリレート系樹脂が主成分のプラスチックからなるとき、上記発光素子は、波長65

0nm近傍の光を発光するものであることが好ましい。

【0065】上記の構成によれば、POFとしてコアの主成分がポリメチルメタクリレートからなるものを、発光素子として波長650nm近傍の半導体レーザあるいはLEDを用いているため、低損失で信頼性が高く、安価な双方向光通信装置を得ることができる。

【0066】本発明の双方向光通信装置は、さらに、上記コアが、ポリカーボネート系樹脂が主成分のプラスチックからなるとき、上記発光素子は、波長780nm近傍の光を発光するものであることが好ましい。

【0067】上記の構成によれば、POFとしてコアの主成分がポリカーボネートからなるものを、発光素子として波長780nm近傍の半導体レーザあるいはLEDを用いているため、低損失で信頼性が高く、安価な双方向光通信装置を得ることができる。

【0068】本発明の双方向光通信装置においては、さらに、光ファイバは、クラッドがプラスチックよりなる一方、コアが石英よりなるハードポリマークラッドファイバであってもよい。

【0069】上記の構成によれば、伝送媒体である光ファイバとして、クラッドがハードポリマーで、コアが石英よりなるハードクラッド石英光ファイバを用いているため、伝送帯域が広く、長距離での通信や高速での通信を行うことが可能になる。

【0070】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）本発明に係る第1の実施の形態について図1ないし図19に基づいて説明すれば、以下の通りである。図2は、第1の実施の形態における双方向光通信リンク（双方向光通信装置）の構成を示す概略図である。双方向光通信リンク16は、伝達するデータ信号に基づく、伝送に適した変調光を双方向に伝送するためのコード状の光ファイバ2と、光ファイバ2の両端に光学的に結合するように、それぞれ接続された各光送受信モジュール（双方向光通信器）1とを備えている。

【0071】光ファイバ2は、光軸方向に直交する断面が円形となっている光透過性である中心部のコアと、そのコアの外周をほぼ均一な厚さで覆う、光透過性であるクラッドとを備えている。よって、上記コアの光軸は、光ファイバ2の光軸とほぼ一致することになる。

【0072】上記コアの屈折率は、上記クラッドの屈折率より、大きく設定されている。このような光ファイバ2では、コアからクラッドへ向かう光は、幾何光学的にはコア・クラッド間の屈折率差のため全反射されるように上記屈折率差が設定されているので、コアとクラッドとの境界にて全反射する。よって、コア内を伝搬する光は、コア中に閉じ込められて外部に漏出（発散）することが防止されることから、光ファイバ2においては、変調光等の光を、光ファイバ2の一端側から他端側に低損失にて伝送することが可能となっている。

【0073】光送受信モジュール1は、図1に示すように、上記変調光を生成するための、発光素子7と、光ファイバ2からの変調光を受光してデータ信号を生成するための受光素子6と、光ファイバ2から入射した受信光を受光素子6まで伝搬する、直方体形状（矩形状）の光透過性の主導波路3と、発光素子7から出射された送信光を主導波路3を介して光ファイバ2にて伝送するための、直方体形状の光透過性の副導波路4とを有している。

【0074】上記発光素子7、受光素子6、主導波路3および副導波路4は、受光素子6と発光素子7とをそれぞれ制御するための制御装置10と、発光素子7の出力をモニタするモニタ用フォトダイオード9と共に、シリコン等からなる基板5上に、後述する半導体プロセスを用い集積化されて形成されている。

【0075】光ファイバ2は、その長手方向端面を、主導波路3における、受光素子6の受光部と光学的に結合された出射側に対し、反対側となる主導波路端面11と近接して対面させることにより、上記主導波路3と光学的に結合されている。したがって、主導波路3の長手方向が主導波路3内を通過する光ファイバ2からの光の光軸方向にほぼ沿うように、主導波路3は設定されている。

【0076】そして、副導波路4は、発光素子7を、副導波路4の長手方向の一端面において、光学的に結合させて有すると共に、副導波路4の長手方向の他端面が、主導波路3における光軸方向に対する側面（側部）にて、上記主導波路端面11に向かって発光素子7からの送信光を照射するように、上記主導波路3に対して光学的に結合されている。上記光軸方向は、受光素子6に向かう、主導波路3に結合された光ファイバ2からの受信光の光軸方向である。主導波路3に対する副導波路4の結合位置は、主導波路3における受光素子6と主導波路端面11との間、例えば中間に設定されている。

【0077】発光素子7は、制御装置10で制御されて送信光を出射する。発光素子7からの送信光は、副導波路4に結合され、副導波路4内を伝搬して、主導波路3に結合されて主導波路3内を伝搬する。さらに、上記送信光は、主導波路端面11で光ファイバ2に結合され、光ファイバ2内を伝送される。発光素子7から出射した光の一部は、モニタ用フォトダイオード9で受光されてモニタされる。そのモニタ結果に基づいて、発光素子7からの光の出射強度が一定となるように、フィードバック制御により、上記発光素子7は、その出力が調整される。

【0078】一方、光ファイバ2から入射してきた受信光は、主導波路端面11で主導波路3と結合し、主導波路3を伝搬して光カプラ8を介して受光素子6に結合されて、電気信号に変換される。その後、その電気信号は、制御装置10にてデータ信号に復調される。

【0079】このように本実施の形態では、副導波路4を、主導波路3の途中にて主導波路3の側面に結合することにより、一本の光ファイバ2で、光により双方向にて送受信することができるので、従来のような光分岐路を省いて、受信光の分岐損失が少ない、高効率の光送受信モジュール1および双方向光通信リンク16を得ることができる。

【0080】さらに、主導波路3における、光軸方向に直交する断面積を、副導波路4における光軸方向に直交する断面積より大きく設定することにより、光ファイバ2から主導波路3に入射した受信光が、主導波路3と副導波路4との間の結合部14において、副導波路4側に伝搬する光の量を低減することができ、より高効率で受信光を受信することができる。また、発光素子7からの送信光は、受信光よりモード数が少ないため、断面積の小さい副導波路4でも低損失で伝搬することが可能となっている。

【0081】また、主導波路3は、主導波路3を伝搬する光のモード数を副導波路4を伝搬する光のモード数よりも多くなるように設定されることが望ましい。マルチモードの光を伝搬する光ファイバ2は、多数のモードを含んでいる。このため、主導波路3のモード数も同様に多くすることにより、光ファイバ2と主導波路3とを高効率で結合させることができる。

【0082】一方、副導波路4は、受信光が伝搬し難く、発光素子7からの送信光を効率よく伝搬するように設定されることが好ましい。半導体レーザ等の発光素子7は、モード数が少ないため、副導波路4のモード数を主導波路3のモード数よりも少なくすることを容易に可能となる。一方、主導波路3に導かれた受信光は、そのモード数が多いことにより、上記主導波路3から副導波路4に導かれることが抑制されるので、上記受信光を主導波路3を介して効率よく受光素子6まで伝搬でき、かつ、送信光を効率よく主導波路3まで伝搬することができる。

【0083】モード数は、主導波路3および副導波路4における各コア層（コア部）の断面積や、それらのコア層やクラッド部との屈折率差により任意に設定することができる。また、光ファイバ2では、例えば、半導体レーザのような低次モード（モード数の少ない）の光を入射したとしても、上記光は、光ファイバ2を伝搬するうちに、光ファイバ2の特性により決まるモード数に変化する。

【0084】本願発明に用いたマルチモードの光ファイバ2（特にプラスチック光ファイバ）では、光ファイバ2を伝搬してきた光は、多数のモードを含むようになる。したがって、他方の光送受信モジュール1から送信されてきた光は、送信時に光のモード数が少なくとも、光ファイバ2を伝搬することにより、モード数が多くなる。

【0085】本願発明では、例えば、副導波路4は約50 μ mに設定されており、一方、光ファイバ2のコア径は約1mmに設定されているから、光ファイバ2から入射して主導波路3を伝搬する光の方が、副導波路4から主導波路3に伝搬する光よりも、モード数が多いことになる。

【0086】光ファイバ2としては、POF等のマルチモード光ファイバを用いる。POFは、コアがPMMA (PolyMethylMethAcrylate) やポリカーボネート等の光透過性に優れたプラスチックからなり、クラッドは上記のコアより屈折率の低いプラスチックで構成されている。

【0087】このような光ファイバ2では、そのコアの径を、約200 μ mから1mm程度に設定できるので、単一モード光ファイバである、石英光ファイバに比べコア径を大きく設定できる。コアが、PMMAからなるPOFは、波長650nm近傍の透過率が高く、コアがポリカーボネートからなるPOFは、波長780nm近傍の透過率が高いという特徴がある。

【0088】POFは、石英光ファイバと比較すると、伝送損失が大きい、曲げ損失が少なく、折れ難く、大口径のファイバを容易に製造できることから、光送受信モジュール1との結合調整が容易であり、安価な双方向光通信リンク16を得ることができる。

【0089】発光素子7としては、例えば、位相の揃った(coherent)な光を出射するGaAlAsやGaInAsIP等を材料とする半導体レーザや、発光ダイオード(LED)が用いられる。LEDでは高速の通信は困難であり、約150Mbps以下の通信に使用できる。一方、半導体レーザでは、150Mbpsを超える伝送レートのための高帯域の通信が可能である。POFのコアの透過率が高い、波長650nmや、波長780nmを生成する半導体レーザは、それぞれデジタルバーサタイルディスクやCD(コンパクトディスク)で使用されており、信頼性も高く、コストも安価である。

【0090】このため、発光素子7に用いた波長により、光ファイバ2のコアの材質が選択される。波長650nmの半導体レーザを用いる場合には、コアがPMMAからなるPOFを用い、波長780nmの半導体レーザを用いる場合には、コアがポリカーボネートからなるPOFを用いることにより、伝送損失が少なく、信頼性が高く、低コストの双方向光通信リンク16を得ることができる。

【0091】また、光ファイバ2として、HPCFを用いてもよい。HPCFは、コアが石英ガラスよりなり、クラッドがハードポリマで構成されている。HPCFはPOFに比べると価格が高いが、伝送損失が小さく、伝送帯域が広いという特徴がある。このため、HPCFを伝送媒体とすることにより長距離での通信やより高速での通信を行うことができる双方向光通信リンクを得るこ

とができる。この場合、HPCFにおける各波長での透過率を考慮すると、発光素子7としては波長780nmや波長850nm近傍のものを使用するとよい。

【0092】受光素子6としては、受光した変調光の強弱を電気信号に変換し、発光素子7の波長域で感度の高いフォトダイオードを使用し、例えば、シリコンを材料とするPINフォトダイオードや、アバランシェフォトダイオード等を用いる。また、受光素子6は、基板5に埋め込まれた形で形成してもよい。

【0093】主導波路3と受光素子6とは、光カプラ8により結合されている。光カプラ8とは、例えば図3および図4に示すように、基板5に埋め込まれた受光素子6と、その受光面上に形成された主導波路3とを光学的に結合するものである。主導波路3の基板5側には、光の基板5側への漏出を防止するように、コア層3aよりも屈折率の低い、例えば酸化シリコン等からなるようなバッファ層3bがクラッド部として形成されている。

【0094】そこで、光カプラ8は、図4に示すように、受光素子6の受光面上で、上記バッファ層3bを、受信光の進行方向に沿って、バッファ層3bの厚さを順次薄く、テーパ状に形成し、その薄くなった部分を補うように、コア層3aの厚さを順次厚くすることによって形成されている。この光カプラ8では、主導波路3を伝搬してきた受信光が、バッファ層3bが薄くなった、もしくは無くなった部分で、基板5側に漏出するため、受光素子6に光学的に結合される。主導波路3と受光素子6との間には、例えば窒化シリコン等の反射防止膜を形成してもよい。

【0095】このような光カプラ8を用いることにより、主導波路3を伝搬してきた光を高効率で受光素子6に結合させることができる。また、受光素子6が主導波路3により覆われているため、迷光が受光素子6に入り難くなる。さらに、また、受光素子6を基板5に埋設するように形成しておき、その上に、主導波路3を形成するため、受光素子6および主導波路3の形成を半導体製造プロセスにより行うことができ、受光素子6と主導波路3との位置調整を容易に高精度に行うことができる。さらに、また、光送受信モジュール1を小型化することもできる。

【0096】この光カプラ8は、変形例として、バッファ層3bをテーパ状に形成せず、例えば図5に示すように、受光素子6上にて、バッファ層3bを中断して、中断されたバッファ層3bに相当する部分を、全てコア層3aに置き換えられたものでもよい。中断したバッファ層3bの端面は、主導波路3の光軸方向に対し直交するように設定されている。

【0097】このようなバッファ層3bの基板5の表面に対して直交する方向での加工は、反応性イオンエッチング(RIE)等により容易に行うことができるため、光カプラ8の製造工程を簡略化できる。なお、受光素子

6は、光カブラ8以外の方法で主導波路3と結合させてもよく、例えば、主導波路3における光軸方向の終端面に張り付けられてもよい。

【0098】また、図6に示すように、さらに、主導波路3の終端面（主導波路3における光軸方向の終端面）に、反射面15を形成して、主導波路3を伝搬してきた光を、上記反射面15によって受光素子6の方向に反射させることにより、結合させてもよい。図4および図5に示したような方法で受光素子6に結合を行う場合、光が基板5側に全て取り出すことができず、その一部が主導波路3の終端面から出射して漏出することがある。このため、図6に示すように、反射面15により、強制的に受光素子6に結合させることにより、より結合効率を向上させることが可能となる。

【0099】図1に示すように、前述したモニタ用フォトダイオード9としては、例えばシリコンを材料とするPINフォトダイオード等を用いることができる。上記モニタ用フォトダイオード9は、発光素子7の背面（副導波路4に対する光の出射面に対し反対面）からの出射光をモニタすることにより、発光素子7の出力を一定に保つためのものである。モニタ用フォトダイオード9は、基板5に埋め込んで設けてもよい。また、発光素子7とモニタ用フォトダイオード9とをモニタ用光導波路により結合させてもよい。モニタ用光導波路により結合させることにより、発光素子7からの迷光を減らすことができる。

【0100】制御装置10は、受光素子6で受光した受信光からの電気信号を、データ信号に復調したり、発光素子7の出力を制御したり、モニタ用フォトダイオード9で受光したモニタ光から発光素子7の出力を調整したりする。

【0101】主導波路3、副導波路4、受光素子6、発光素子7は、全て基板5上に形成してもよい。これらを同一の基板5上に形成することにより、光送受信モジュール1の小型化が図れ、一括して製造することができ、一括して製造することによって精度を改善できて信頼性も向上する。基板5としては、シリコンやガリウム砒素等の半導体やガラス、樹脂等を用いることができる。

【0102】次に、主導波路3と副導波路4について詳細に説明する。主導波路3は、例えば図7に示すように、基板5上に形成され、矩形状であり、コア層3aと、そのコア層3aと基板5との間に形成された、コア層3aより屈折率の低いバッファ層3bとを備えている。また、コア層3aにおける、上記バッファ層3bの形成面と異なる、光軸方向の各側部に、光軸方向に対して直交する断面がコの字状となる、コア層3aより屈折率の低いオーバークラッド層3cを設けてもよい。副導波路4についても、その構造は、主導波路3と同様であるため、その説明を省略する。

【0103】また、主導波路3は、基板5上に形成せず

に、例えば図8に示すように、成形等の方法で作製したものでもよい。この場合は、主導波路3のコア層3aの断面形状を円形に設定することができ、光ファイバ2との結合効率をより向上させることができる。このような主導波路3では、コア層3aの外周面上にオーバークラッド層3cが設けられている。このような主導波路3に対応した、副導波路4についても、その構造は同様であるので、その説明を省略する。コア層3aは、ポリイミド、PMMA、ポリカーボネート、ポリスチレン等、あるいは、これらを主成分としてプラスチックから構成してもよい。

【0104】プラスチックの光導波路は、石英の光導波路と比較して、厚膜化が容易であり、口径の大きいマルチモード光ファイバと高効率で結合させることができ、また、安価で容易に作製することができる。

【0105】発光素子7として、半導体レーザを用いる場合、基板5へのボンディング工程で約300℃の熱処理を行う必要があるが、一般にプラスチックは耐熱性が悪い問題となる。しかし、ポリイミドは、他のプラスチックと比較して耐熱性が約300℃以上と高いため、熱処理による変質が生じ難い。また、フッ素化ポリイミドは、透明性が高く、伝送損失を少なくすることができる。このため、コア層3aとしては、ポリイミドを用いるのが好ましい。ポリイミドとしては、具体的には、商品名PIXやOPI（日立化成製）等を用いることができる。

【0106】バッファ層3b、およびオーバークラッド層3cは、コア層3aより屈折率の低い材料を使用し、例えば酸化シリコンや、プラスチック等を使用する。また、オーバークラッド層3cとしては、光硬化型、あるいは熱硬化型の樹脂を使用してもよい。

【0107】次に、主導波路3および副導波路4の作製方法について図9に基づいて説明する。主導波路3および副導波路4は、半導体プロセスによって作製することができる。その作製工程の一例を以下に説明する。

【0108】1）シリコンからなる基板5上にバッファ層3bとして、酸化シリコンをスパッタリング方により数 μm の厚さで製膜する。その後、フォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィによりパターンニングを行う。これをマスクとしてバッファ層3bの不要部分をCF₄ガスを用いた反応性イオンエッチング（RIE）により除去する（図9（a）参照）。基板5の表面は、予め、研磨、ポリッシング加工が施されている。基板5には、図示しないが、予め、前述の、受光素子やモニタ用フォトダイオードおよびそれらの配線が形成されている。

【0109】2）基板5上にコア層3aとしてのポリイミド（商品名：PIX3400、日立化成製）をスピニングにより塗布する。その後、130℃と230℃、350℃でベークを行う。ベーク後の、コア層3aの膜

厚は、 $40\mu\text{m}$ 程度となるように設定する(図9(b)参照)。

【0110】3) 上記コア層3a上に、コア層3aのマスクとして酸化シリコン膜12を、膜厚約 $1\mu\text{m}$ にてスパッタリング法により形成する。さらに、この酸化シリコン膜12上に、酸化シリコン膜12のマスクとしてフォトリソグレイス13を塗布する(図9(c)参照)。

【0111】4) フォトリソグレイス13を主導波路3と副導波路4の形状にパターニングし、 CF_4 ガスによるRIEにより、主導波路3と副導波路4の形状に応じた、酸化シリコン膜12の不要部分を除去する(図9(d)参照)。

【0112】5) 次に、酸素ガスによるRIEにより、主導波路3と副導波路4の形状に応じた、コア層3aの不要部分を除去する。このとき、フォトリソグレイス13も同時に除去される(図9(e)参照)。酸化シリコン膜12は、除去できないが、上部クラッドとして利用することができる。コア層3aのマスクとしては、酸化シリコン膜12以外に、シリコン含有レジストやアルミニウム等を用いることができるが、酸素ガスによるRIEにより残渣(のこりかす)が生じ易い。

【0113】以上のように、この作製工程では、主導波路3と副導波路4とを半導体プロセスによって作製しているため、高精度に作製することができ、受光素子6との結合も高精度にて行うことができる。また、基板5上に複数の光送受信モジュール1を同時に一括して作製することができ、低コストでの作製が可能となる。上述した主導波路3と副導波路4との作製方法は一例であり、もちろん一部を変更した方法や他の方法により作製することも可能であり、また、例えば成形により、主導波路3および副導波路4を作製してもよい。

【0114】次に、主導波路3および副導波路4の形状について図10に基づいてそれぞれ説明する。図10に示すように、主導波路3の光軸は光ファイバ2の光軸に対し略平行となっている。副導波路4の光軸は主導波路3の光軸に対して θ_a 傾けて形成されている。副導波路4は主導波路3の主導波路端面11から距離Lの部分で主導波路3に結合している。主導波路3の光軸と光ファイバ2の光軸とを略平行とすることにより、光ファイバ2から主導波路3に入射する光を効率よく主導波路3に結合することができ、主導波路3に入射した後の伝送損失も少なくすることができる。

【0115】一方、副導波路4の光軸を主導波路3の光軸に対して傾けることにより、光ファイバ2から入射して主導波路3を伝搬する光が副導波路4に結合し難くすることができる。特に、主導波路3の光軸と副導波路4の光軸のなす角度 θ_a を規定することにより、送信、受信とも損失の少ない光送受信モジュール1を得ることが可能となる。

【0116】発光素子7から出射し、副導波路4を伝搬

してきた光が、主導波路3に結合した後の損失と角度 θ_a との関係を計算した結果を図11に示す。計算は、ビーム伝搬法により行った。発光素子7として、波長 650nm の半導体レーザと、波長 780nm の半導体レーザの2種類を想定した。主導波路3と副導波路4としては、ポリイミド(日立化成製、商品名:P1X)の物性を用い、パッド層3bとオーバークラッド層3cとして酸化シリコンを用いた場合を考えた。主導波路3の幅は $400\mu\text{m}$ 、副導波路4の幅は $100\mu\text{m}$ とした。上記の幅は、主導波路3および副導波路4における光軸方向に対し直交し、かつ、基板5の表面に対し平行な方向の長さである。

【0117】発光素子7から出射した光が副導波路4に結合され、副導波路4を伝搬した後に主導波路3に結合され、角度 θ_a の違いにより伝送損失に差が生じる。図11から明らかなように、上記の何れの波長でも、角度 θ_a が 22° を超えると急激に伝送損失が大きくなる。このため、角度 θ_a は 22° 以内に設定することが望ましい。また、主導波路3と副導波路4との長さは、受光素子6と発光素子7とが互いに干渉せずに設置できるように決定される。このため、角度 θ_a は大きい方が、主導波路3と副導波路4との長さを短くすることができる。

【0118】一方、光ファイバ2から入射した光は主導波路3を伝搬し、結合部14で、上記光の一部が副導波路4側に分配される。受光素子6での受光量を増やすためには、副導波路4への分配量を少なくする必要がある。図12に、主導波路3から副導波路4への分岐損失と角度 θ_a との関係をビーム伝搬法により計算した結果を示す。主導波路3および副導波路4の条件は図11で計算したものと同一とした。結合部14での損失は角度 θ_a が小さい程大きくなる傾向にある。

【0119】しかし、角度 θ_a が 10° から 20° の範囲内において、損失は 1dB 以下であり、図10に示したように、主導波路3を光ファイバ2に対し直線状に配置し、副導波路4を主導波路3の途中で結合させる構造とすることにより、送信時と受信時の両方において、伝送損失の小さい光送受信モジュール1を得ることが可能となる。

【0120】主導波路端面11と結合部14との距離Lは少ない程、主導波路3の長さを短くすることができ、光送受信モジュール1を小型化することができる。また、主導波路3での伝搬損失(伝送損失)を少なくすることができる。図13に示すように、距離Lが短く、例えばゼロに設定すると、副導波路4を伝搬してきた送信光が光ファイバ2にほとんど直接結合するようになる。

【0121】一般に、主導波路3は製造上の問題から側面での損失が大きくなり易く、このため、このように送信光が光ファイバ2と直接結合する形とすることにより、より損失を少なくすることができる。この場合、副

導波路 4 の光軸と光ファイバ 2 の光軸のなす角度 θ_b を規定することにより、より損失を少なくすることができる。

【0122】図 14 に、角度 θ_b と光ファイバ 2 に入射後の光の光ファイバ 2 内での損失との関係を計算にした結果を示す。計算はビーム伝搬法を用いて行った。発光素子 7 と光ファイバ 2 の組み合わせとして、波長 650 nm の半導体レーザと PMMA コアの POF、波長 780 nm の半導体レーザとポリカーボネートコアの POF の 2 種類を考えた。光ファイバ 2 のコア径を 500 μm 、主導波路 3 の幅を 400 μm 、副導波路 4 の幅を 100 μm とした。

【0123】発光素子 7 から出射した光が副導波路 4 に結合され、副導波路 4 を伝搬後に光ファイバ 2 に結合したとき、角度 θ_b の違いにより損失に差が生じる。図 14 から明らかなように、何方の組み合わせでも、角度 θ_b が 17 度を超えると急激に損失が大きくなる。このことから、角度 θ_b は 17 度以下に設定することが望ましい。また、主導波路 3 と副導波路 4 の長さは、受光素子 6 と発光素子 7 とが互いに干渉せずに設置できる長さになければならない。このため、角度 θ_b は大きい方が、主導波路 3 と副導波路 4 の長さを短くすることができる。

【0124】主導波路 3 と副導波路 4 は共に直線形状に形成されている。直線形状とすることにより、伝送損失を少なくすることができ、また製造時、例えば、前述した半導体プロセスを用いた製造時に容易に主導波路 3 と副導波路 4 とを形成することができる。

【0125】あるいは、一変形例として、図 15 に示すように、主導波路 3 の光軸を、光ファイバ 2 の光軸に対して、角度 θ_c 傾けてもよい。この場合、送信光の損失を少なくするために、角度 θ_c は、図 14 に示した結果と同様に理由により、17 度以下に形成される。

【0126】このように、主導波路 3 の光軸を光ファイバ 2 の光軸に対して傾けることにより、主導波路端面 11 の断面積をより大きく設定することができ、光ファイバ 2 と効率よく結合させることができる。副導波路 4 の幅と厚さは発光素子 7 との結合効率により決定される。発光素子 7 からの出射光の副導波路 4 との結合効率の、副導波路 4 の幅と厚さ依存性を計算した結果を、それぞれ図 16 および図 17 に示す。上記厚さは、主導波路 3 および副導波路 4 における光軸方向、および基板 5 の表面の双方に対し直交する方向の長さである。

【0127】計算は光線追跡法により行った。発光素子 7 としては半導体レーザを想定し、強度分布をガウス分布と仮定し、基板 5 の表面に対して、直交方向の放射角（半値幅）を 30 度、基板 5 の表面に対して、平行方向の放射角を 10 度として計算した。発光素子 7 と副導波路 4 との距離は 30 μm とし、発光素子 7 の設置精度を副導波路 4 の幅方向、厚み方向共に $\pm 15 \mu\text{m}$ とした。

【0128】ところで、シングルモード光ファイバとの結合の場合、精度は数 μm 以下でなければならないが、上記のように、 $\pm 15 \mu\text{m}$ の範囲内の精度は容易に発光素子 7 を設置できる程度の精度である。

【0129】計算は軸ずれが最大の場合として行った。結合効率の許容誤差を 1 dB と考えると、図 16 および図 17 より副導波路 4 の厚さは 35 μm 以上、幅は 40 μm 以上必要であることが判る。すなわち、副導波路 4 の厚さ 35 μm 以上、幅を 40 μm 以上とすることにより、発光素子 7 の軸ずれが生じて、損失の変化を少なく抑えることが可能となる。主導波路 3 の厚さは製造工程の簡略化のために副導波路 4 と同じ厚さに形成されることが望ましい。

【0130】次に、主導波路 3 と光ファイバ 2 との結合について説明する。マルチモードの光を伝搬する口径の広い光ファイバ 2 では、出射光は点光源と見なすことができないため、レンズにより集光することが困難である。このため、光ファイバ 2 と主導波路 3 とを直接突き合わせる、すなわち上記両者の各端面を互いに近接して向かい合わせるにより、結合させることが望ましい。図 18 に、光ファイバ 2 と主導波路端面 11 との距離と結合損失の関係を計算した結果を示す。

【0131】損失は光ファイバ 2 から主導波路 3 への受信光の結合損失と主導波路 3 から光ファイバ 2 への送信光の結合損失の合計とした。光ファイバ 2 のコア径と主導波路 3 の幅と同一（500 μm ）として計算した。主導波路 3 の厚さは 80 μm とした。光ファイバ 2 の開口数（図では NA と記す）は 0.3 と 0.5 の 2 種類とした。図 18 から判るように、光ファイバ 2 と主導波路端面 11 との距離は狭い程、結合効率がよくなる。距離としては 100 μm 以下がよく、好ましくは 50 μm 以下とすることにより、結合効率の低下を少なくすることができる。

【0132】主導波路端面 11 は光ファイバ 2 との接触による損傷を回避するために、主導波路端面 11 の表面にカバーガラス等の保護膜を形成してもよい。また、主導波路端面 11 と光ファイバ 2 との結合部の空隙を両者の屈折率に近い、屈折率整合剤を用いて充填してもよい。

【0133】主導波路 3 と光ファイバ 2 の結合効率と、主導波路 3 の幅との関係を計算した結果を図 19 に示す。損失は光ファイバ 2 から主導波路 3 への受信光の結合損失と主導波路 3 から光ファイバ 2 への送信光の結合損失の合計とした。光ファイバ 2 の開口数は 0.3 と 0.5 の 2 種類とした。主導波路 3 の厚さは 80 μm とした。光ファイバ 2 と主導波路端面 11 との距離は 50 μm とした。

【0134】図 19 から判るように、主導波路 3 の幅を光ファイバ 2 のコア径の 0.8 倍未満では、結合効率が急激に低下する。このため、主導波路 3 の幅は光ファイ

バ2のコア径の0.8倍以上にすることが好ましい。

【0135】なお、上記した例は、もちろん一例であり、これに限定されるものではなく、例えば、主導波路3と副導波路4とを、それぞれ曲線形状にしたり、テーパ状に幅や厚みを変化させてもよい。

【0136】以上のように、第1の実施の形態で示した光送受信モジュール1では、POFのようにコアの口径が比較的大きいマルチモード光ファイバと低損失で簡単な調整で結合することができ、1本の光ファイバ2で双方向に通信が可能であり、送信・受信共に伝送損失が小さく、迷光による影響が少なく、発光素子7と副導波路4を介し光ファイバ2への結合が容易であり、他の素子との集積化が容易に行え、安価で小型とすることができる。

【0137】（第2の実施の形態）続いて、第2の実施の形態について図20に基づいて説明すれば以下の通りである。ただし、この第2の実施の形態では、第1の実施の形態にて説明した部材と同様の機能を有する部材については、第1の実施の形態と同一の部材番号を付与して、その説明を省いた。

【0138】本第2の実施の形態では、副導波路4として、複数、例えば2つの第1副導波路4aと第2副導波路4bが、主導波路3にそれぞれ形成されている。第1副導波路4aと第2副導波路4bとは、主導波路3の側面で主導波路3とそれぞれ結合している。第1副導波路4aに結合されている第1発光素子7aから出射された光は第1副導波路4aを伝搬し、主導波路3に結合されて、光ファイバ2に入射する。第2副導波路4bに結合されている第2発光素子7bから出射された光は第2副導波路4bを伝搬し、主導波路3に結合されて、光ファイバ2に入射する。

【0139】第1発光素子7aおよび第2発光素子7bとは、例えば波長780nmと650nmのように、互いに異なる波長の光を出射するようにそれぞれ設定されている。また、主導波路3と受光素子6との間に、例えば、受信光の波長の光のみを通過させる、干渉フィルタのような、波長分離素子を配置してもよい。また、副導波路4は、3つ以上形成してもよい。

【0140】このような光送受信モジュール1では、複数の副導波路4を用いることにより波長多重通信を行うことができる。以上のように、第2の実施の形態に示した双方向光通信リンクでは、波長多重通信が可能となり、より高密度の、すなわちより多くの情報を、光通信にて送受信することが可能となる。

【0141】（第3の実施の形態）次に、第3の実施の形態について図21に基づいて説明すれば以下の通りである。ただし、この第3の実施の形態では、第1および第2の実施の形態にて説明した部材と同様の機能を有する部材については、第1および第2の実施の形態と同一の部材番号を付与して、その説明を省いた。

【0142】本第3の実施の形態では、光送受信モジュール1の発光素子7は、図示しないが、光ファイバ2の他端側の第2の光送受信モジュールの発光素子の波長 λ_2 とは異なる波長 λ_1 の光を出射するように設定されている。そして、主導波路3と受光素子6との間の光路

（光軸）上には、干渉フィルタ等の波長分離素子17が設置されている。波長分離素子17は波長 λ_2 の光を透過させ、波長 λ_1 の光は透過せず遮断するものである。

【0143】発光素子7から出射した送信光は、副導波路4を伝搬して、光ファイバ2に入射する。しかし、送信光の一部は主導波路端面11や光ファイバ2の端面で反射される。このため、波長 λ_1 と波長 λ_2 とが互いに同一であった場合、図示しない第2の光送受信モジュールから同時に送信された送信光と、この反射光との区別ができない。したがって、上記場合では、半二重の通信しか、安定に行うことができない。

【0144】しかしながら、本第3の実施の形態のように、波長 λ_1 と波長 λ_2 とを相異なる波長とし、波長分離素子17により各波長の光を分離することにより、全二重の通信を安定に行うことが可能となる。

【0145】もちろん、光ファイバ2の他端に結合された、第2の光送受信モジュールでは、送信光を波長 λ_2 に、受信光を波長 λ_1 に設定している。また、波長の分離方法は波長分離素子17による以外に、波長感度の相異なる各受光素子6をそれぞれ用いてもよい。波長分離素子17を主導波路3と受光素子6との間に設けることにより、より確実に波長の分離を行うことができる。

【0146】以上のように、第3の実施の形態で示した双方向光通信リンクでは、一本の光ファイバ2により、全二重の通信を行うことが可能であり、双方向の光通信において、より伝送速度を向上させることができる。

【0147】

【発明の効果】本発明の双方向光通信器は、以上のように、光ファイバと光学的に結合し、光ファイバから入射した光を受光素子に導く主導波路と、主導波路における光軸方向に対する側部にて主導波路と光学的に結合し、発光素子から出射された光を主導波路を介して光ファイバに導く副導波路とを有する構成である。

【0148】それゆえ、上記構成は、主導波路の側部に対し、副導波路を、発光素子から出射された光を主導波路を介して光ファイバに導くように設けたことにより、従来の光分岐器を省いて、一本の光ファイバにて、双方向の光通信を高効率にて、実現することが安価に可能となるという効果を奏する。

【0149】さらに、上記構成は、双方向の光通信が、一本の光ファイバにて高効率、かつ、安価に可能となることから、小規模なネットワークの双方向光通信装置（双方向光通信リンク）に好適に用いることができるという効果を奏する。

【0150】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導

波路を伝搬する光のモード数が、副導波路を伝搬する光のモード数よりも多くなるように上記主導波路は設定された構成である。

【0151】それゆえ、上記構成は、主導波路を伝搬する光のモード数を副導波路を伝搬するモード数よりも多く設定しているため、光ファイバからの受信光が副導波路側に伝搬し難くなり、高効率で受信光を受光素子に伝搬することができる。また、送信光も、高効率で副導波路に伝搬させることができ、送信・受信ともに高効率の光送受信モジュールを得ることができるという効果を奏する。

【0152】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路における、光軸方向を横切る断面積が、副導波路における、光軸方向を横切る断面積よりも大きくなるように設定されている構成である。

【0153】それゆえ、上記構成は、主導波路の断面積を副導波路の断面積より広くすることにより、マルチモード光ファイバからの入射光を主導波路に効率よく結合させることができる。一方、副導波路は光ファイバからの入射光と結合し難くなり、発光素子からの出射光を光ファイバに高効率で結合させることができるという効果を奏する。

【0154】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路および副導波路は、上記主導波路および副導波路のコア部がプラスチックで形成されている構成である。

【0155】それゆえ、上記構成は、主導波路と副導波路のコア部をプラスチックで構成しているため、厚膜加工が容易であり、口径の大きい光ファイバと高効率で、簡単な調整により結合させることができるという効果を奏する。

【0156】本発明の双方向光通信器は、さらに、上記コア部は、ポリイミドを主成分とするプラスチックからなっている構成である。

【0157】それゆえ、上記構成は、主導波路および副導波路のコア部を、ポリイミドを主成分とするプラスチックで構成しているため、耐熱性が高く、かつ、光の透過率の高い主導波路および副導波路が得られ、発光素子として半導体レーザを使用しても、オーミック電極形成時の熱処理が問題無く行え、かつ損失の少ない主導波路および副導波路を得ることができる。また、ドライエッチング技術を用いて加工が可能のため、半導体プロセスでの製造を行うことができ、例えば半導体からなる基板上への作製が容易に行え、安価で高精度の製造が可能となるという効果を奏する。

【0158】本発明の双方向光通信器は、さらに、副導波路の光軸と主導波路の光軸との間で形成される角度が、22度以下となるように設定されている構成である。

【0159】それゆえ、上記構成は、副導波路の光軸と主導波路の光軸のなす角度を22度以下に規定している

ため、発光素子から出射され副導波路を伝搬してきた光を主導波路により低損失で結合させることができる。また、光ファイバから主導波路に入射してきた光を効率よく受光素子で結合させることができるという効果を奏する。

【0160】本発明の双方向光通信器は、さらに、副導波路の光軸と、光ファイバのコアの光軸との間で形成される角度が、17度以下となるように設定されている構成である。

【0161】それゆえ、上記構成は、副導波路の光軸と光ファイバのコアの光軸のなす角度を17度以下に規定しているため、副導波路から主導波路を介して光ファイバに入射した光が光ファイバ内で損失を受け難く、効率よく光を伝送することができるという効果を奏する。

【0162】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路の光軸と、光ファイバのコアの光軸との間で形成される角度が、17度以下となるように設定されている構成である。

【0163】それゆえ、上記構成は、主導波路の光軸と光ファイバのコアの光軸のなす角度を17度以下に規定しているため、主導波路から光ファイバに入射した光が光ファイバ内で損失を受け難く、効率よく光を伝送することができると共に、光ファイバとの結合部での主導波路の断面積を大きく設定することができ、光ファイバからの受信光を高効率で受光素子に伝送できるという効果を奏する。

【0164】本発明の双方向光通信器は、さらに、副導波路が、複数、主導波路に対し設けられている構成である。

【0165】それゆえ、上記構成は、副導波路を複数設けているため、各副導波路にそれぞれ応じた、波長の異なる複数の発光素子を用いて波長多重の通信を容易に行うことができ、より高密度の情報伝達が可能となるという効果を奏する。

【0166】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路と、副導波路とが基板上に形成されている構成である。

【0167】それゆえ、上記構成は、主導波路と副導波路とを同一の基板上に形成しているため、他の素子との集積化が容易に行え、上記構成を小型化でき、かつ、製造プロセスの簡素化できるという効果を奏する。

【0168】本発明の双方向光通信器は、さらに、光ファイバから主導波路に入射した光を、基板上に形成した受光素子に対し導入するための光カプラが設けられている構成である。

【0169】それゆえ、上記構成は、基板上に受光素子を形成したことによって、受光素子を主導波路により覆うことができるため、迷光が受光素子に入り難くなる。さらにまた、受光素子を基板上に形成しておき、基板および受光素子上に主導波路を形成するため、半導体プロセ

スにより製造を行うことができ、よって、受光素子と主導波路との位置調整を容易に高精度に行うことができる。

【0170】その上、上記構成では、半導体プロセスにより製造を行うことができることから、構成を小型化できる。さらに、上記構成では、光カプラにより、主導波路と受光素子とを結合するために、主導波路を伝搬してきた光を光カプラによって高効率で受光素子に結合させることができる。

【0171】この結果、上記構成では、受信光を主導波路から受光素子に導く光カプラを、基板上に形成した受光素子を覆う主導波路に設けたことによって、小型化でき、かつ、安価で、さらに受信感度を良好にできるという効果を奏する。

【0172】本発明の双方向光通信器は、さらに、少なくとも発光素子と結合する部分における、副導波路の幅が $40\mu\text{m}$ 以上となるように設定されている構成である。

【0173】それゆえ、上記構成は、発光素子と結合する部分での副導波路の幅を $40\mu\text{m}$ 以上としているため、発光素子として、例えば半導体レーザを用いる場合に、副導波路と半導体レーザの結合を容易な調整により行うことができるようになるという効果を奏する。

【0174】本発明の双方向光通信器は、さらに、少なくとも発光素子と結合する部分での副導波路の厚さが、 $35\mu\text{m}$ 以上となるように設定されている構成である。

【0175】それゆえ、上記構成は、発光素子と結合する部分での副導波路の厚さを $35\mu\text{m}$ 以上としているため、発光素子として、例えば半導体レーザを用いる場合に、副導波路と半導体レーザの結合を容易な調整により行うことができるようになるという効果を奏する。

【0176】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路の厚さが、副導波路の厚さと同一となるように設定されている構成である。

【0177】それゆえ、上記構成は、主導波路の厚さを副導波路と同じ厚さに形成しているため、主導波路と副導波路の形成を同時に行うことができ、容易に二つの導波路の形成を行うことができるという効果を奏する。

【0178】本発明の双方向光通信器は、さらに、少なくとも光ファイバと結合する部分での主導波路の幅が、光ファイバのコア径の0.8倍以上となるように設定されている構成である。

【0179】それゆえ、上記構成は、光ファイバと結合する部分での主導波路の幅を光ファイバのコア径の0.8倍以上に形成しているため、光ファイバから入射してくる光を主導波路に高効率で結合させることができると共に、主導波路からの出射する光を光ファイバで高効率に結合させることができるという効果を奏する。

【0180】本発明の双方向光通信器は、さらに、光ファイバの一端に結合された光送受信モジュールの発光素

子と、光ファイバの他端に結合された光送受信モジュールの発光素子とは、互いに異なる発光波長をそれぞれ有する構成である。

【0181】それゆえ、上記構成は、光ファイバの両端の各発光素子が、互いに異なる発光波長を有することから、一本の光ファイバにより全二重の通信を安定に行うことができるという効果を奏する。

【0182】本発明の双方向光通信器は、さらに、主導波路と、受光素子との間に波長分離素子が、配置されている構成である。

【0183】それゆえ、上記構成は、波長分離素子により波長分離を行って、受光素子に入射する光を規制して、受光素子に不要な波長の光が入射することを抑制できるので、より確実に全二重の通信を行うことができるという効果を奏する。

【0184】本発明の双方向光通信装置は、以上のように、マルチモードの光を伝搬する光ファイバの各端に、それぞれ光学的に結合されている複数の双方向光通信器を有して、双方向光通信を行うための双方向光通信装置であって、上記複数の双方向光通信器の少なくとも一つは、上記記載の各双方向光通信器の何れか一つである構成である。

【0185】上記構成によれば、従来のように光分岐器を省いても、送信光および受信光を用いた双方向光通信が可能となるので、伝送損失が小さく、かつ、迷光による影響が少なくできることから、受信感度が高い高効率での双方向光通信が簡素で安価な構成により可能となるという効果を奏する。

【0186】本発明の双方向光通信装置は、さらに、光ファイバとして、コアがプラスチックよりなるプラスチック光ファイバが用いられている構成である。

【0187】それゆえ、上記構成は、光ファイバとしてPOFを用いているため、曲げ損失が少なく、折れ難く、また、コアが 1mm 程度の大口径の光ファイバを容易に製造できることから、光ファイバと主導波路との結合調整が容易であり、かつ、双方向光通信装置を安価にできるという効果を奏する。

【0188】本発明の双方向光通信装置は、さらに、上記コアが、ポリメチルメタクリレート系樹脂が主成分のプラスチックからなるとき、上記発光素子は、波長 650nm 近傍の光を発光するものである構成である。

【0189】それゆえ、上記構成は、POFとしてコアの主成分がポリメチルメタクリレートからなるものを、発光素子として波長 650nm 近傍の半導体レーザあるいはLEDを用いているため、低損失で信頼性が高く、安価な双方向光通信装置を得ることができるという効果を奏する。

【0190】本発明の双方向光通信装置は、さらに、上記コアが、ポリカーボネート系樹脂が主成分のプラスチックからなるとき、上記発光素子は、波長 780nm 近

傍の光を発光するものである構成である。

【0191】それゆえ、上記構成は、POFとしてコアの主成分がポリカーボネートからなるものを、発光素子として波長780nm近傍の半導体レーザあるいはLEDを用いているため、低損失で信頼性が高く、安価な双方向光通信装置を得ることができるという効果を奏する。

【0192】本発明の双方向光通信装置においては、さらに、光ファイバは、クラッドがプラスチックよりなる一方、コアが石英よりなるハードポリマークラッドファイバである構成である。

【0193】それゆえ、上記構成は、伝送媒体である光ファイバとして、クラッドがハードポリマーで、コアが石英よりなるハードクラッド石英光ファイバを用いているため、伝送帯域が広く、長距離での通信や高速での通信を行うことが可能になるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の双方向光通信装置の光送受信モジュールに係る第1の実施の形態の概略斜視図である。

【図2】上記双方向光通信モジュールの概略図である。

【図3】上記光送受信モジュールの光カブラの平面図である。

【図4】上記光カブラにおける、図3のA-A矢視概略断面図である。

【図5】上記の光カブラの他の変形例の概略断面図である。

【図6】上記の光カブラに対する反射部の概略断面図である。

【図7】上記光送受信モジュールの主導波路の説明図であって、(a)は側面図、(b)は、上記側面図におけるB-B矢視概略断面図である。

【図8】上記光送受信モジュールの他の主導波路の説明図であって、(a)は側面図、(b)は、上記側面図におけるC-C矢視概略断面図である。

【図9】上記主導波路の製造方法の一例を示す工程図である。

【図10】上記の第1の実施の形態に係る光送受信モジュールにおける、主導波路と副導波路、および光ファイバとの位置関係を表す概略図である。

【図11】上記主導波路と副導波路との各光軸のなす角度 θ_a と、送信光損失との関係を示すグラフである。

【図12】上記主導波路と副導波路との各光軸のなす角度 θ_a と、受信光損失との関係を示すグラフである。

【図13】上記の第1の実施の形態に係る他の光送受信モジュールにおける、主導波路と副導波路、および光ファイバとの位置関係を表す概略図である。

【図14】上記副導波路と光ファイバとの各光軸のなす角度 θ_b と、送信光損失との関係を示すグラフである。

【図15】上記主導波路の光軸と光ファイバとの光軸との関係を示す、光送受信モジュールの概略図である。

【図16】上記光送受信モジュールにおける発光素子と、副導波路との結合効率の副導波の幅依存性を示すグラフである。

【図17】上記発光素子と、副導波路との結合効率の副導波の厚さ依存性を示すグラフである。

【図18】上記主導波路の端面と、光ファイバとの間の距離と、上記両者の結合損失との関係を示すグラフである。

【図19】上記光ファイバのコア径に対する、主導波路の幅と結合損失との関係を示すグラフである。

【図20】本発明の第2の実施の形態に係る双方向光通信モジュールの概略図である。

【図21】本発明の第3の実施の形態に係る双方向光通信モジュールの概略図である。

【図22】従来の双方向光通信装置の概念図である。

【図23】従来の他の双方向光通信装置の説明図である。

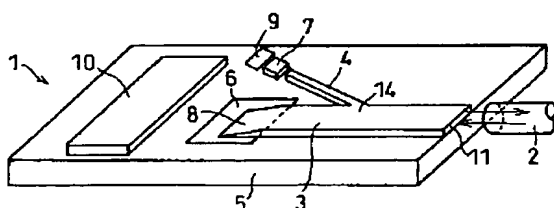
【図24】従来のさらに他の双方向光通信装置の説明図である。

【図25】従来のさらに他の双方向光通信装置の説明図である。

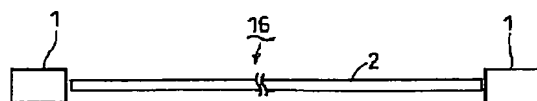
【符号の説明】

- 1 光送受信モジュール（双方向光通信器）
- 2 光ファイバ
- 3 主導波路
- 4 副導波路
- 6 受光素子
- 7 発光素子

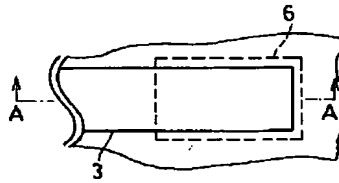
【図1】



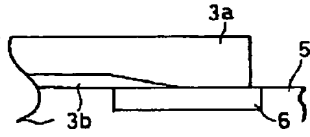
【図2】



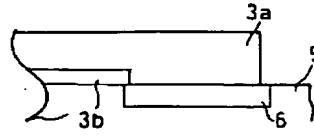
【図 3】



【図 4】

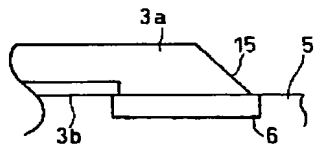


【図 5】

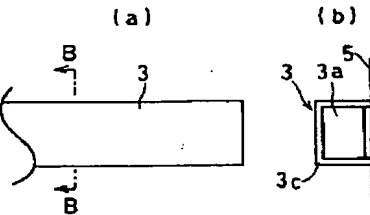


【図 8】

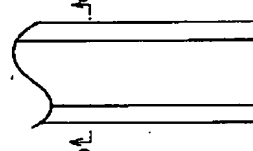
【図 6】



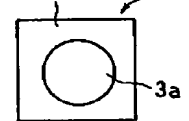
【図 7】



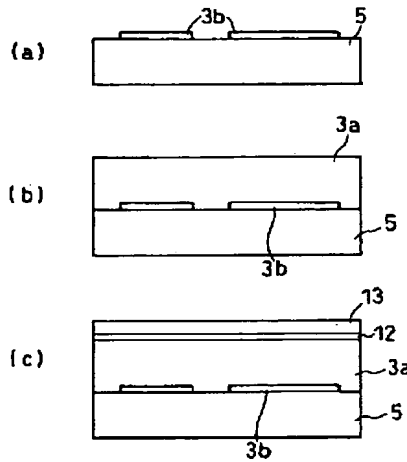
(a)



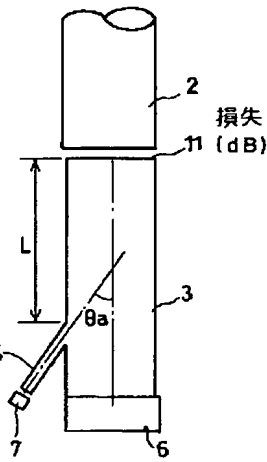
(b)



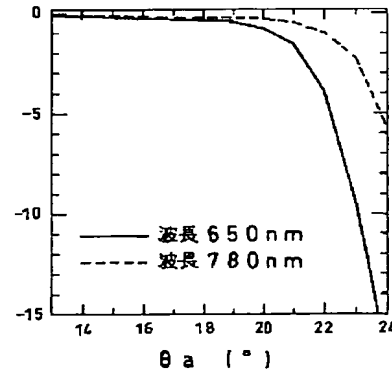
【図 9】



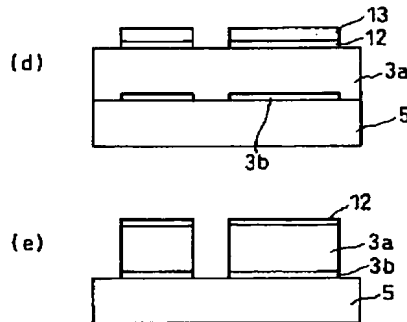
【図 10】



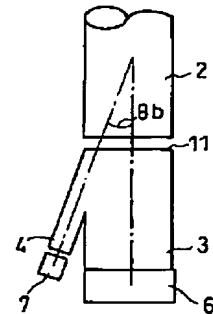
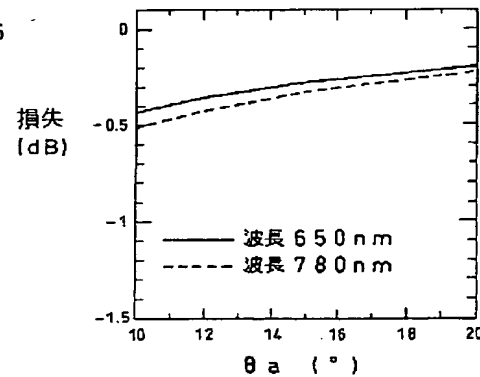
【図 11】



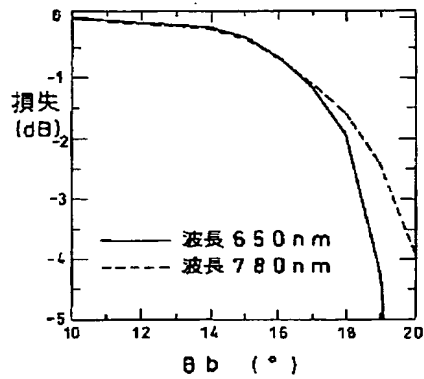
【図 13】



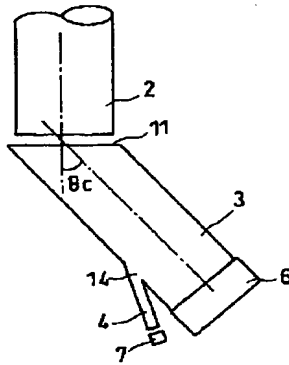
【図 12】



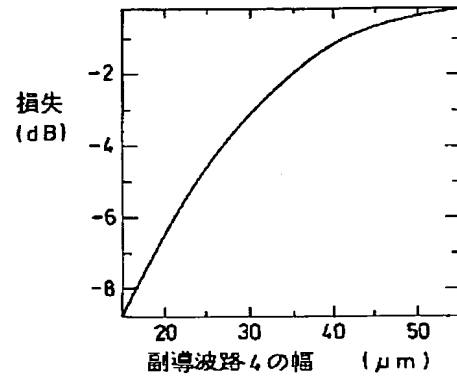
【図 14】



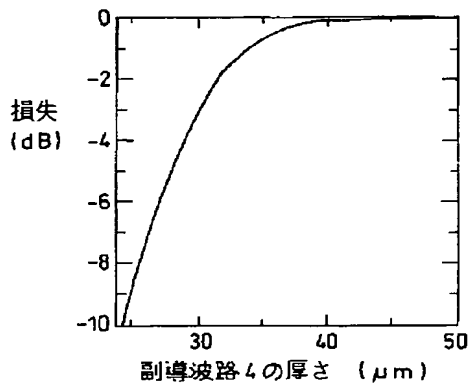
【図 15】



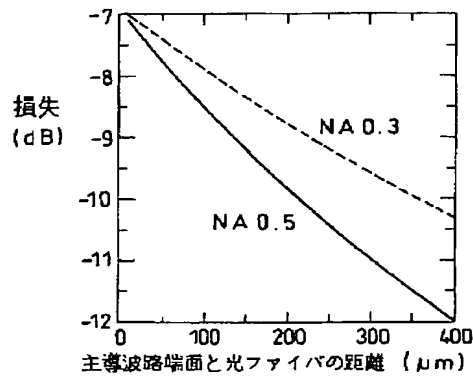
【図 16】



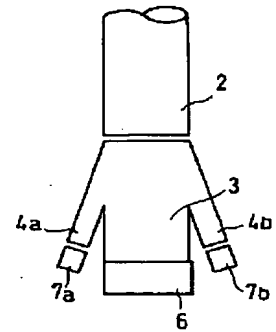
【図 17】



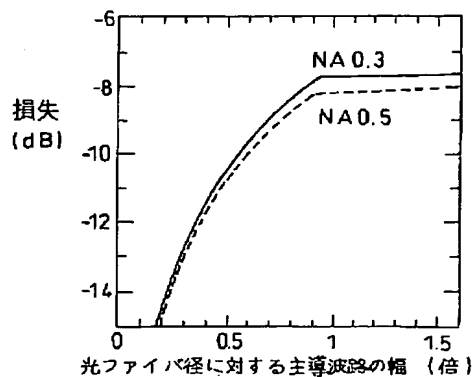
【図 18】



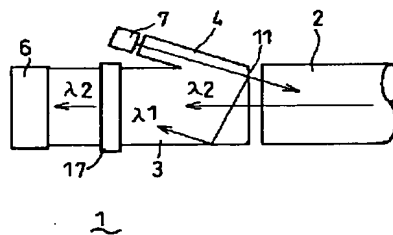
【図 20】



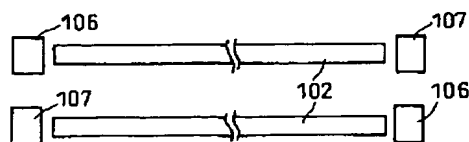
【図 19】



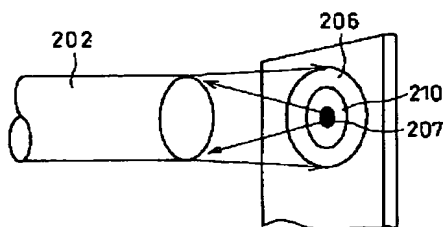
【図 21】



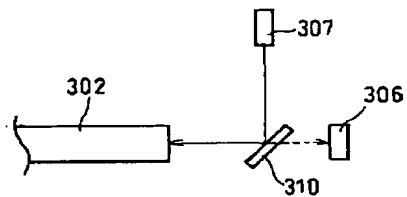
【図 22】



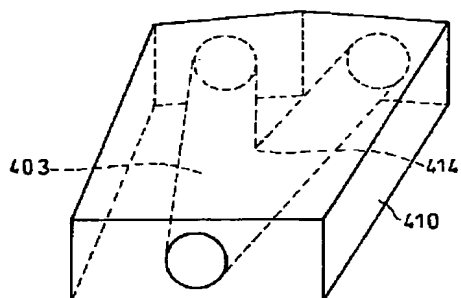
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



フロントページの続き

(72) 発明者 岡田 訓明
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.